

# FONDEMENTS DES RADIOCOMMUNICATIONS MOBILES

Les réseaux cellulaires

# Introduction

- Les premières expériences réalisées dans le domaine de la *transmission sans fil* consistaient à *définir une zone de couverture relativement grande puis, à y installer une antenne relais, laquelle servait de point d'accès aux utilisateurs évoluant dans cette zone.*
- *Cette technique nécessitait une puissance d'émission importante, capable d'atteindre la périphérie de la couverture.*

# Introduction

- *La forte atténuation du signal au niveau de cette périphérie permettait de réutiliser les fréquences de l'antenne relais (exemple : le radio FM).*
- La propriété d'atténuation, caractéristique de l'interface radio, a permis de développer le concept cellulaire.

# Concept cellulaire

- La liaison radio entre le téléphone mobile et le réseau doit être de qualité suffisante, ce qui nécessite la mise en place d'un ensemble de stations de base sur l'ensemble du territoire que l'on souhaite couvrir, de telle sorte que le terminal soit toujours à moins de quelques kilomètres de l'une d'entre elles.

# Concept cellulaire

- une cellule, c'est la surface sur laquelle le téléphone mobile peut établir une liaison avec une station de base déterminée.
- Le principe consiste à diviser une région en un certain nombre de cellules desservies par un relais radioélectrique de faible puissance, émettant à des fréquences différentes de celles utilisées sur les cellules voisines.
- Ces cellules doivent être contiguës sur la surface couverte.

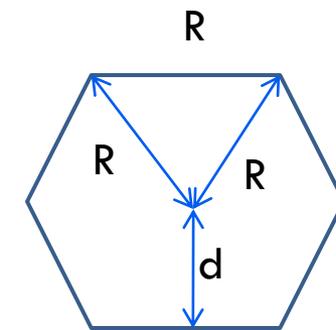
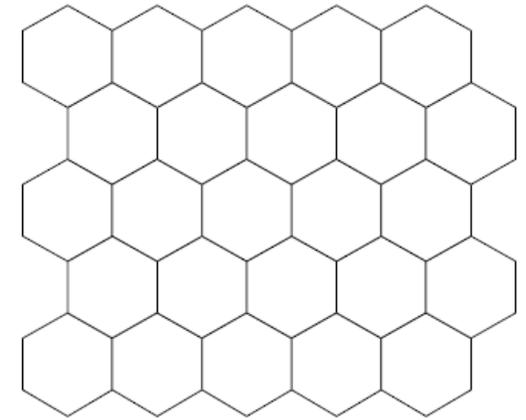
# Concept cellulaire

- le nombre de fréquences accordées étant restreint, l'opérateur est obligé de réutiliser les mêmes fréquences sur des cellules suffisamment éloignées de telle sorte que deux communications utilisant la même fréquence ne se brouillent pas.

# Concept cellulaire :

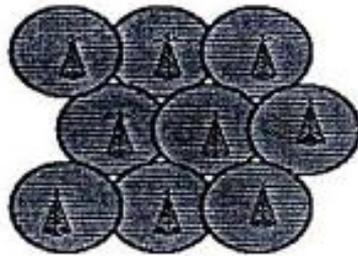
## Découpage géographique

- L'hexagone est la forme régulière qui ressemble le plus au cercle et que l'on peut juxtaposer sans laisser de zones vides.
- Toutefois, la réalité du terrain est bien différente de ce modèle théorique, notamment en zone urbaine où de nombreux obstacles empêchent une propagation linéaire.

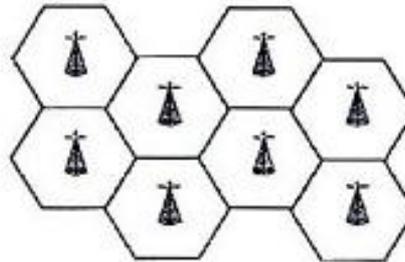


$$d = \frac{\sqrt{3}}{2} R$$

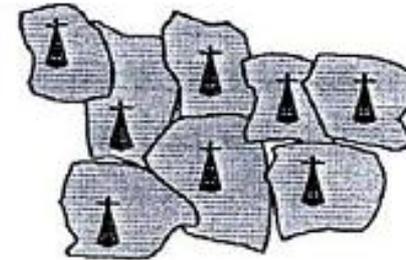
# Réalité du terrain



Théorique



Idéal



Réel

- La taille ou la couverture d'une cellule varie en fonction d'un ensemble de contraintes parmi lesquelles on trouve principalement : La topologie du terrain, la densité d'abonnés et la nature de l'environnement (urbain, suburbain, rurale).

# Concept cellulaire :

## Réutilisation des fréquences

- Si on s'intéresse uniquement à des motifs de réutilisation de fréquences réguliers, on a les propriétés remarquables suivantes :
  - ▣ on peut trouver un motif régulier comportant  $N$  cellules *s'il existe deux entiers  $i$  et  $j$  tels que :*
$$N = i^2 + ij + j^2$$
  - ▣ Ce nombre  $N$  sera appelé la **taille du motif**.
  - ▣ La suite de nombres  $N = 1, 3, 4, 7, 9, 12, 13, 16, 19, 21, \dots$
  - ▣ Pour un tel motif, si  $R$  est le rayon d'une cellule, la distance  $D$  entre une cellule et son homologue la plus proche est telle que :

$$D = \sqrt{3N} \cdot R$$

# Concept cellulaire :

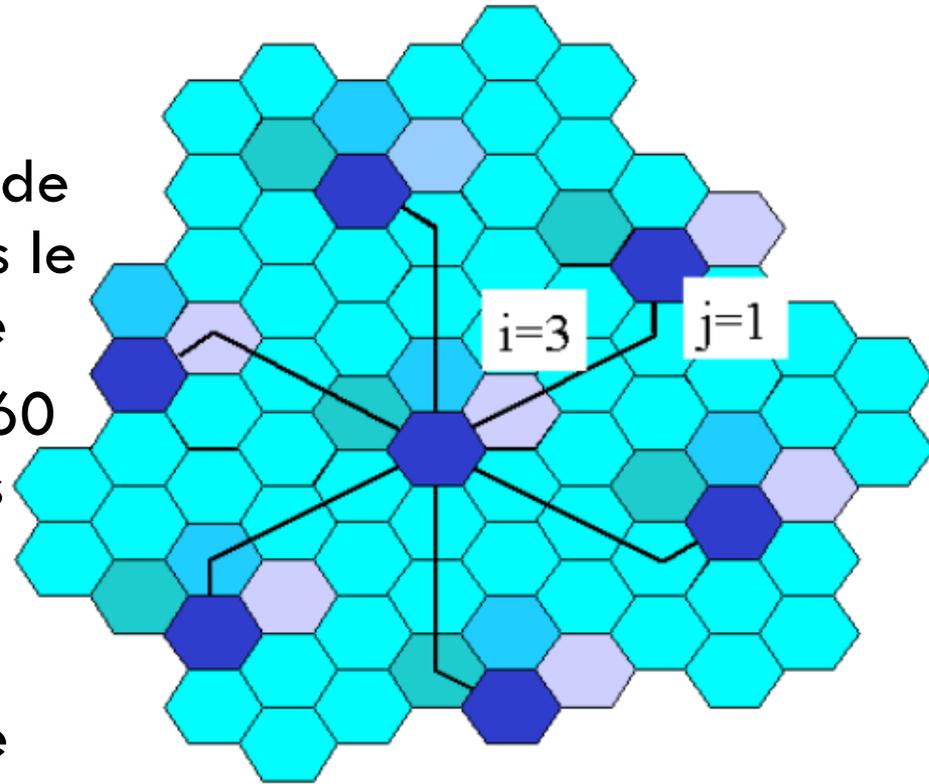
## Réutilisation des fréquences

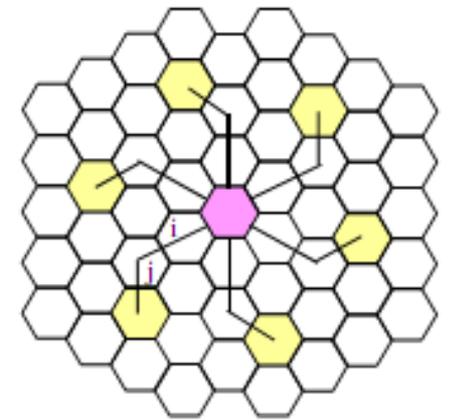
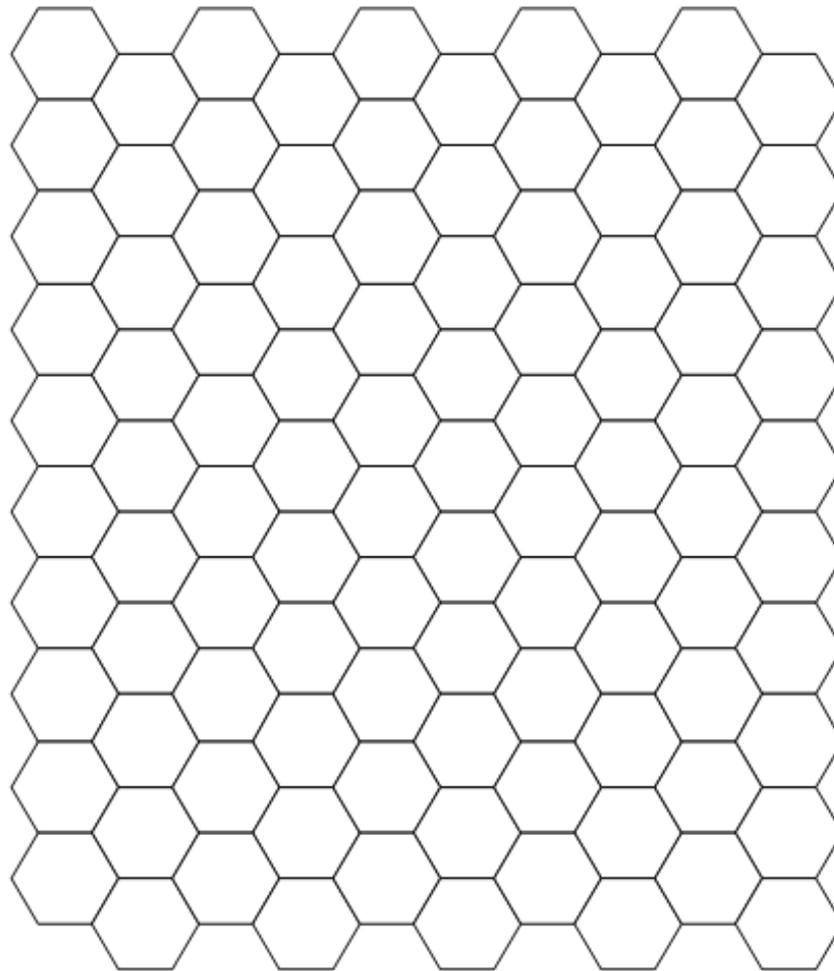
$$N = i^2 + i.j + j^2 \text{ avec } i \text{ et } j \text{ entiers}$$

i/j	0	1	2	3	4
0	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>16</b>
1		<b>3</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>21</b>
2			<b>12</b>	<b>19</b>	<b>28</b>
3				<b>27</b>	<b>37</b>
4					<b>48</b>

# Expl :

- La figure montre la signification de  $i$  et  $j$ . On se déplace de  $i$  cellules le long d'une chaîne de l'hexagone
- ensuite on change de direction, 60 degré dans le sens contraire des aiguilles de la montre et on se
- déplace de  $j$  cellules.
- On répète ceci pour chaque axe de l'hexagone pour trouver toutes les cellules dans lesquelles on peut réutiliser les même canaux que dans celle d'où on part.



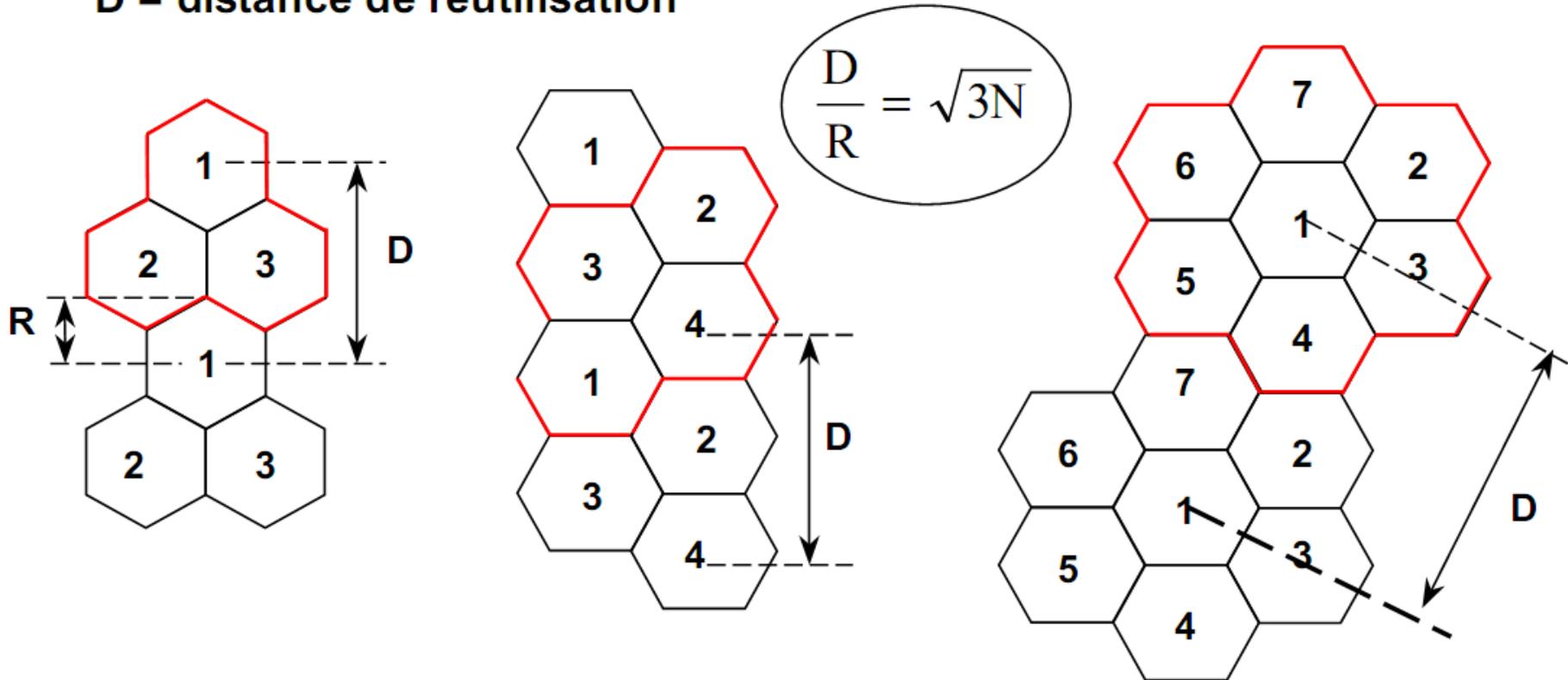


$$i = 2, j = 1$$

# Concept cellulaire :

## Réutilisation des fréquences

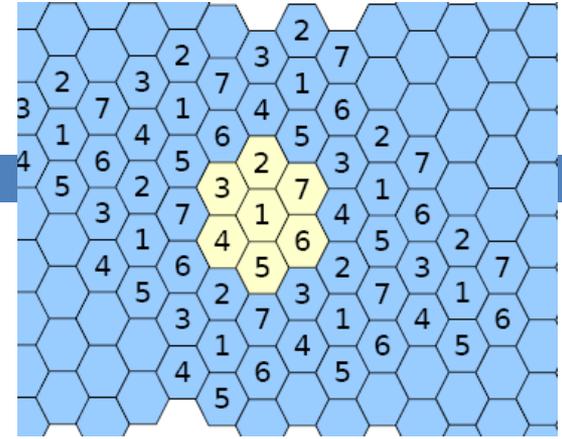
D = distance de réutilisation



Le modèle hexagonal : exemples de motifs à 3, 4, 7 cellules

# Concept cellulaire :

## Réutilisation des fréquences

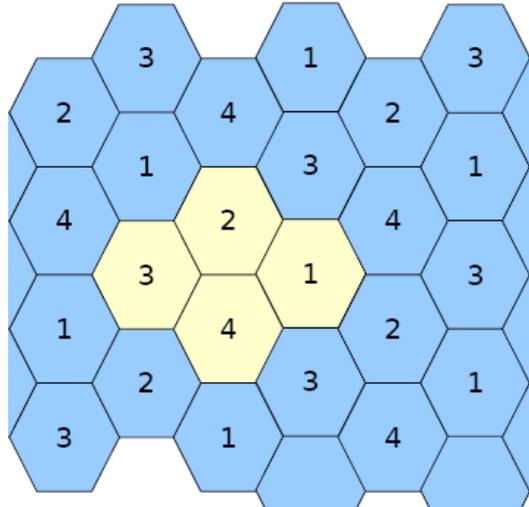


**Le modèle hexagonal :**

**Homothétie de cellules :** pour servir un trafic plus important sans demander plus de spectre, on peut choisir des cellules plus petites.

Le trafic maximum par cellule est inchangé mais le trafic servi par km<sup>2</sup> est accru.

Cependant, les coûts d'infrastructure sont augmentés. De plus, le nombre de handover est augmenté. Enfin, les effets de propagation ne sont pas homothétiques...





## **Le modèle hexagonal :**

**Homothétie de cellules : pour servir un trafic plus important sans demander plus de spectre, on peut choisir des cellules plus petites.**

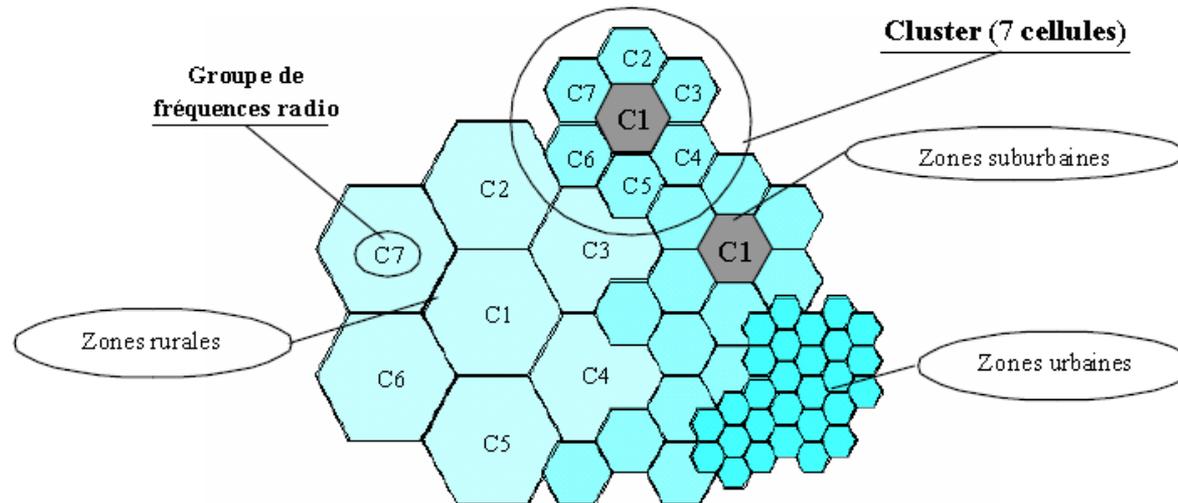
**Le trafic maximum par cellule est inchangé mais le trafic servi par  $\text{km}^2$  est accru.**

**Cependant, les coûts d'infrastructure sont augmentés. De plus, le nombre de handover est augmenté. Enfin, les effets de propagation ne sont pas homothétiques...**

# Expl de découpage géographique

Pour écouler le trafic offert, on adopte la taille des cellules:

- ✿ Les macro cellules : de rayons compris entre 1 Km et 35 Km ; zones rurales,
- ✿ les microcellules : de rayons inférieurs à 1 Km ; zones suburbains,
- ✿ les pico cellules : de rayons inférieurs à 100 m pour couvrir des zones de trafic peu dense à très dense.



# Concept cellulaire :

## Réutilisation des fréquences: downlink

- Le rapport signal à interférence est indépendant du rayon de la cellule.
- Plus on augmente la taille du motif plus le rapport signal à interférence augmente:
  - ▣ Les sources des interférences s'éloignent

# *Concept cellulaire :*

## Réutilisation des fréquences: Uplink

- Le problème est minime puisque la puissance émise par les terminaux est beaucoup plus faibles que celles utilisées par les nœuds du réseau.

# Les fonctions du réseau cellulaire:

## Localisation

- Elle permet au système de localiser un mobile évoluant dans le réseau, en précisant dans quelle cellule il se trouve.
- C'est cette fonction qui permet à un abonné du réseau fixe d'appeler un abonné mobile sans connaître, même de façon approximative, sa position.

# Les fonctions du réseau cellulaire:

## Transfert intercellulaire (handover)

- Il permet à un mobile de maintenir une communication en cours durant un trajet qui l'amène à changer de cellule.
- Lors d'un déplacement d'une cellule A vers cellule B:
  - B constate le rapprochement du mobile;
  - A constate son éloignement;
  - Communication entre A et B:
    - ◆ **Décision 1** : Le mobile est enregistré dans B si un seuil du champ est atteint;
    - ◆ **Décision 2** : Le mobile reste inscrit dans A si mobile pénètre à peine dans B et revient vers A.

# Les fonctions du réseau cellulaire:

## La sécurité

- Dans un réseau de mobiles, tous les utilisateurs partagent un même support de transmission ; il est donc nécessaire de mettre en œuvre un mécanisme de sécurité.
- La sécurité des réseaux de mobiles utilisant l'interface radio nécessite l'authentification de l'utilisateur, ainsi que le cryptage des données et la protection des données de contrôle.

